Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 16, No. 1, June 2025, pp. 55-69

Original Research
Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.89419.1096

Evaluation of Morphological Traits, Yield and Yield Components of Faba Bean (*Vicia faba* L.) under Different Levels of Chemical Fertilizers in Paddy Fields

Mohammad Rabiee[1]*, Sajjad Shaker Kouhi[1]

Received: 18-08-2024 Revised: 11-10-2024 Accepted: 13-10-2024 Available Online: 13-11-2024	**Cite this article:** Rabiee, M., & Shaker Kouhi, S. (2025). Evaluation of morphological traits, yield and yield components of faba bean (*Vicia faba* L.) under different levels of chemical fertilizers in paddy fields. *Iranian Journal of Pulses Research*, *16*(1), 55-69. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.89419.1096

Introduction
Sustainable production is essential for ensuring food security of a growing population. Despite having a high potential for paddy fields in the northern provinces of Iran, unfortunately, most of these paddy fields are planted only once a year and farmers suffer from seasonal unemployment after rice harvesting until the next year. Second crop is one of the ways to increase land productivity and paddy farmers' income which in turn, prevents their migration. The second crop is a type of multiple cropping where the first crop is harvested before planting the second crop. Faba bean (*Vicia faba* L.) is an annual legume with a high protein content. Faba bean is considered an important food legume crop in Iran, especially in the northern provinces. Cultivation of faba bean as a second crop in paddy fields can help sustainable production. Efficient access to the optimum level of nutrient elements in the soil is very important for plant growth and development. The application of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers is one of the most appropriate methods to increase crop production. Determining the optimum levels of chemical fertilizers plays an important role in increasing the yield and sustainable production of faba bean. Therefore, the purpose of this experiment was to investigate morphological traits, yield and yield components of faba bean under different levels of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers in paddy fields.

Materials and Methods
In order to investigate the effects of different levels of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on morphological traits, yield and yield components of faba bean in paddy fields, a factorial arrangement based on randomized complete block design with three replications was conducted in two consecutive seasons at the research fields of Rice Research Institute of Iran in Rasht. Experimental treatments were three levels of nitrogen (46, 69 and 92 kg.ha^{-1} from urea fertilizer source), two levels of phosphorus (48 and 96 kg.ha^{-1} from triple super phosphate source) and three levels of potassium (50, 75 and 100 kg.ha^{-1} from potassium sulfate source). A treatment without fertilizer usage was considered for an independent comparison. For measuring the yield and yield components of faba bean, ten plants in each plot were selected randomly after removing marginal effects and the traits were measured. The protein content of samples was determined by the Kejeldahl method. After measurement of the sample total nitrogen by applying factor 6.25, the seed protein content was measured. Data was analyzed using SAS 9.1 and mean comparisons were done by least significant difference (LSD) test at the 5% probability level.

Results and Discussion
The orthogonal analysis results revealed that the fertilizer treatment had a significant effect on all measured traits of faba bean. The results of variance analysis showed that nitrogen fertilizer had significant effects on all studied traits of faba bean except seeds per pod. The application of phosphorus fertilizer significantly affected branch number, pods per plant, seeds per plant, protein content, pod yield, biological yield, grain yield and protein yield. Among nitrogen levels, the highest plant height, branch number, pods per plant, seeds per plant, 100-seed weight, pod yield, biological yield, grain yield and protein yield were obtained by applying 92 kg.ha^{-1}. The yield and yield components of faba bean were improved with increasing rate of phosphorus fertilizer, and the highest pods per plant (18.8), seeds per pod (4.6), seeds per plant (46.5), grain yield (3996.9 kg.ha^{-1}), pod yield (13385 kg.ha^{-1}), biological yield (34442 kg.ha^{-1}), and protein yield (1233.2

1- Department of Agronomy and Plant Breeding, Rice Research Institute, Rasht, Iran
* Corresponding Author: rabiee_md@yahoo.co.uk

kg.ha^{-1}) were obtained due to addition of 96 kg.ha^{-1}. The pods per plant, seeds per pod, pod yield, grain yield and protein yield were significantly increased with increasing rates of potassium up to 100 kg.ha^{-1}.

Conclusions

According to the results and due to large areas of paddy fields in northern provinces of Iran, use of the areas for faba bean cultivation after rice harvesting can be a helpful solution for sustainable rice production, achieving self-sufficiency and ensuring food security. Overall, the results suggest that applying nitrogen (92 kg.ha^{-1}), phosphorus (96 kg.ha^{-1}), and potassium (100 kg.ha^{-1}) fertilizers is recommended to achieve maximum yield and sustainable production of faba beans as a second crop in the paddy fields of Guilan province.

Keywords: Nitrogen, Phosphorus, Pod yield, Rice, Second crop

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۶، شمارهٔ ۱، نیمهٔ اول ۱۴۰۴، ص. ۶۹-۵۵

نوع مقاله: پژوهشی
Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.89419.1096

ارزیابی صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد باقلا (*Vicia faba* L.) تحت تأثیر سطوح مختلف کودهای شیمیایی در اراضی شالیزاری

محمد ربیعی [1*]، سجاد شاکرکوهی [1]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۲

چکیده

به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه باقلا (*Vicia faba* L.)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۳۹۷-۹۹ در اراضی شالیزاری مؤسسه تحقیقات برنج کشور در شهرستان رشت به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح نیتروژن خالص از منبع کود اوره (۴۶، ۶۹ و ۹۲ کیلوگرم در هکتار)، دو سطح فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل (۴۸ و ۹۶ کیلوگرم در هکتار) و سه سطح پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) بودند. همچنین، یک تیمار بدون مصرف کود (شاهد) جهت مقایسه مستقل اثرات مصرف کود در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که بین سطوح نیتروژن، کاربرد ۹۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بیشترین ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد غلاف، تعداد دانه در بوته، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد غلاف، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و عملکرد پروتئین را به خود اختصاص داد. بین سطوح فسفر، بیشترین تعداد غلاف (۱۸/۸)، تعداد دانه در غلاف (۴/۶)، عملکرد دانه (۳۹۹۶/۹ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد پروتئین (۱۲۳۳/۲ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد ۹۶ کیلوگرم فسفر در هکتار حاصل شد. افزایش سطوح پتاسیم تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سبب افزایش تعداد غلاف، تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه، عملکرد غلاف سبز و عملکرد پروتئین شد. لذا، کاربرد کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌ترتیب به‌میزان ۹۲، ۹۶ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار جهت حصول عملکرد مناسب و تولید پایدار باقلا به‌عنوان کشت دوم در اراضی شالیزاری استان گیلان قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: برنج، عملکرد غلاف، فسفر، کشت دوم، نیتروژن

مقدمه

حبوبات به‌عنوان دومین منبع مهم غذایی انسان پس از غلات، از اهمیت ویژه‌ای در بین گیاهان زراعی برخوردار هستند. این گیاهان به‌دلیل همزیستی با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، نقش مؤثری در بهبود حاصلخیزی خاک دارند. حبوبات می‌توانند در تناوب با سایر گیاهان زراعی از جمله غلات قرار گیرند و از طریق تنوع‌بخشی به نظام‌های زراعی، نقش مهمی در کشاورزی پایدار ایفا نمایند (Cucci et al., 2019). باقلا با نام علمی *Vicia faba* L. گیاهی یک‌ساله از خانواده بقولات می‌باشد. بیشترین سطح زیر کشت این گیاه در ایران مربوط به استان‌های مازندران، گلستان، خوزستان، گیلان و لرستان است (Khosravi et al., 2015). باقلا به‌دلیل محتوای بالای کربوهیدارت (۴۲ تا ۴۷ درصد)، پروتئین (تا ۳۴ درصد در دانه‌های خشک)، مواد معدنی و ترکیبات فعال زیستی از ارزش غذایی بالایی برخوردار است (Karkanis et al., 2018). استان‌های شمالی کشور به‌دلیل شرایط مساعد اقلیمی، از جمله مناطق مستعد جهت کشت دوم پس از برداشت برنج به‌شمار می‌روند. علی‌رغم پتانسیل بالای این اراضی جهت کشت دوم در پاییز، متأسفانه بیشتر آن‌ها در نیمه دوم سال خالی از زراعت باقی می‌مانند (Rabiee & Modarresi, 2021). کشت دوم یکی از راهکارهای اساسی بهره‌وری از منابع و توانمندی‌های طبیعی و اقتصادی استان‌های شمالی کشور جهت خروج از کشت تک‌محصولی برنج، رعایت تناوب زراعی، ایجاد اشتغال و افزایش درآمد کشاورزان است. گیاه باقلا از جمله حبوبات مهمی است که می‌تواند در تناوب با برنج قرار گیرد. پتانسیل بالای تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، سرمادوست بودن و در نتیجه، امکان کشت به‌صورت پاییزه و به تبع آن عدم نیاز به آبیاری، برداشت زودهنگام در بهار و میزان عملکرد قابل قبول، از جمله ویژگی‌های باقلا به‌عنوان یک محصول اقتصادی مناسب برای کشت پس از برداشت برنج به‌شمار می‌رود (Rabiee & Jilani, 2015).

۱- بخش تحقیقات اصلاح و تهیه بذر، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران
(*- نویسنده مسئول: rabiee_md@yahoo.co.uk)

تعیین نسبت مناسب عناصر غذایی پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای دستیابی به رشد مطلوب و عملکرد بهینه گیاه و در عین‌حال به حداقل رساندن اثرات منفی زیست‌محیطی ناشی از مصرف زیاد این عناصر، دارای اهمیت است (Selim, 2021). نیتروژن به‌دلیل شرکت در بسیاری از فرآیندها از جمله ساختمان سلول گیاهی به‌صورت آنزیم‌ها، اسیدهای آمینه و نوکلئیک، پروتئین‌های ذخیره‌ای، کلروفیل و دیواره سلول، به‌عنوان مهم‌ترین عنصر غذایی در گیاه در نظر گرفته می‌شود (Wu et al., 2019). در نتیجه، کمبود این عنصر اثرات نامطلوبی بر ارتفاع گیاه، اندازه برگ، محتوای کلروفیل، فتوسنتز و میزان پروتئین دانه دارد (Peng et al., 2021). بااین‌حال، کاربرد بیش از حد نیتروژن می‌تواند سبب اسیدی شدن خاک، رشد رویشی و زایشی نامطلوب، اختلال در جذب سایر مواد مغذی (پتاسیم و فسفر) و کاهش عملکرد محصول شود (Liu et al., 2021). در کنار نیتروژن، فسفر در بسیاری از فعالیت‌های حیاتی گیاه از جمله ذخیره و انتقال انرژی، انتقال کربوهیدارت‌ها، فعالیت برخی از آنزیم‌ها، در دسترس بودن سایر مواد مغذی و فتوسنتز نقش دارد. فسفر سبب تحریک رشد و تسریع رسیدگی محصول می‌شود. این عنصر می‌تواند از طریق انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از منبع به مقصد، باعث بهبود عملکرد دانه شود (Jin et al., 2005). کمبود فسفر باعث رشد ضعیف ریشه، تأخیر در بلوغ، اختلال در جذب آهن و روی و کاهش کیفیت محصول می‌شود (Meng et al., 2021). پتاسیم به‌دلیل نقش محوری در فیزیولوژی و فعالیت آنزیمی گیاه، به‌عنوان فراوان‌ترین کاتیون در گیاهان عالی در نظر گرفته می‌شود. این عنصر باعث تحریک متابولیسم کربوهیدرات‌ها شده و سنتز قند، سلولز و چربی را تنظیم می‌کند. پتاسیم در تشکیل دیواره ضخیم سلولی، باز و بسته‌شدن روزنه‌ها و افزایش مقاومت گیاه به تنش، آفات و بیماری‌ها نقش دارد (Wang et al., 2020; Rawat et al., 2022).

واکنش حبوبات از جمله باقلا نسبت به مقادیر مختلف کود نیتروژن متفاوت است و در بیشتر موارد، استفاده از کود نیتروژن تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سبب افزایش عملکرد باقلا می‌شود (Golabi & Lak, 2005). در پژوهشی، اثر کودهای مصرفی بر زراعت باقلا در سیستم کشت برنج-باقلا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح کودهای نیتروژن و فسفر، عملکرد دانه باقلا افزایش یافت. به‌طوری‌که، بیشترین عملکرد دانه باقلا در ترکیب تیماری ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار با میانگین ۴۷۴۴/۵ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (Shahdi Kumleh et al., 2017). عزیز علی‌آبادی و همکاران (Aziz Ali-Abadi et al., 2014) در بررسی اثر کود نیتروژن و فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد باقلا در رشت گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه باقلا در تیمار ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر به دست آمد. همچنین، کمترین عملکرد دانه باقلا با کاربرد کود نیتروژن به‌مقدار ۲۵ کیلوگرم در هکتار و عدم مصرف کود فسفر حاصل شد. در آزمایشی گزارش شد که کاربرد کود فسفر می‌تواند باعث افزایش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و عملکرد باقلا شود (Weldua et al., 2012). نتایج مطالعه اثر نوع و مقدار کود پتاسیم بر عملکرد باقلا نشان داد که بیشترین عملکرد دانه باقلا در تیمار ۱۲۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار حاصل شد، هر چند تفاوت معنی‌داری با مقادیر ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار نداشت. از طرفی، اثر کود کلرو پتاسیم بر عملکرد دانه باقلا متفاوت بود، به‌طوری‌که عملکرد دانه با افزایش کاربرد کود کلرو پتاسیم از ۳۰ به ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار، کاهش قابل توجهی داشت (Goosheneshin, 2016). حسین‌زاده و همکاران (Hosseinzade et al., 2012) گزارش کردند که با افزایش کاربرد پتاسیم، عملکرد و اجزای عملکرد باقلا افزایش یافت، به‌طوری‌که عملکرد دانه باقلا در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم با میانگین پنج تن در هکتار نسبت به تیمار عدم مصرف کود (۴/۱ تن در هکتار) تفاوت معنی‌داری داشت. با توجه به مطالب بیان‌شده، به نظر می‌رسد که بهینه‌سازی مصرف کود می‌تواند نقش مهمی در افزایش عملکرد کمّی و کیفی زراعت باقلا در مناطق شالیزاری ایفا کند. ازاین‌رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر سطوح مختلف کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد باقلا به‌عنوان کشت دوم پس از برداشت برنج در اراضی شالیزاری گیلان طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۷ در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور واقع در پنج کیلومتری شهرستان رشت به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح نیتروژن خالص از منبع کود اوره (۴۶، ۶۹ و ۹۲ کیلوگرم در هکتار)، دو سطح فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل (۴۸ و ۹۶ کیلوگرم در هکتار) و سه سطح پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) بودند. همچنین، یک تیمار بدون مصرف کود (شاهد) جهت مقایسه مستقل اثرات مصرف کود در نظر گرفته شد. قبل از اجرای آزمایش، نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک انجام شد (جدول ۱). جدول ۲، مشخصات آب‌وهوایی مؤسسه تحقیقات برنج کشور طی دوره رشد گیاه باقلا را نشان می‌دهد. برای کشت باقلا از رقم برکت که دارای ویژگی‌هایی از جمله پتانسیل عملکرد بالا و سازگار با شرایط شالیزاری و آب‌وهوایی استان گیلان می‌باشد، استفاده شد. کاشت بذور باقلا در تاریخ ۱۰ آبان و برداشت نیز در دهه سوم اردیبهشت انجام شد. پس از برداشت برنج، عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، احداث زهکش و استفاده از علف‌کش ترفلان به‌میزان دو لیتر در هکتار انجام شد. هر تیمار در پنج ردیف کاشت و به‌طول هفت متر با فاصله بین ردیف ۴۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر کشت شد. فاصله بین تیمارها یک متر و فاصله بین تکرارها

نیز دو متر در نظر گرفته شد. کشت بذور باقلا به‌صورت دستی در عمق ۵-۴ سانتی‌متری انجام گردید. اعمال کود نیتروژن طی سه مرحله (پیش از کاشت، ساقه‌دهی و گل‌دهی) و کودهای فسفر و پتاسیم نیز به‌صورت پیش از کاشت صورت گرفت. برای اندازه‌گیری اجزای عملکرد، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و میانگین آن‌ها به‌عنوان صفت مورد نظر ثبت شد. عملیات برداشت جهت محاسبه عملکرد غلاف سبز پس از حذف اثرات حاشیه‌ای، به‌صورت دستی از چهار مترمربع و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک انجام گردید. برای محاسبه عملکرد دانه، مقدار دو کیلوگرم بذر تر پس از جداکردن از غلاف به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و عملکرد دانه خشک برحسب رطوبت ۱۲ درصد تعیین گردید. عملکرد غلاف سبز بر حسب ۴۰ درصد رطوبت دلنه به دست آمد. میزان پروتئین دلنه از طریق لندازه‌گیری درصد نیتروژن دانه با دستگاه کجلدال و ضرب کردن آن در عدد ثابت ۶/۲۵ به دست آمد. عملکرد پروتئین نیز از حاصلضرب درصد پروتئین و عملکرد دانه به دست آمد (Salo-Vaananen & Koivistoinen, 1996). محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام شد. قبل از انجام تجزیه مرکب به‌منظور اطمینان از یکنواختی واریانس اشتباه آزمایشی از آزمون بارتلت استفاده شد. تجزیه مرکب نیز با فرض تصادفی بودن سال و ثابت بودن تیمارهای آزمایشی برای صفات مورد نظر، صورت گرفت و به‌دلیل یکنواختی واریانس خطای صفات، برای تمامی آن‌ها تجزیه مرکب به عمل آمد. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Chemical and physical characteristics of soil

بافت Texture	اسیدیته pH	کربن آلی (درصد) OC (%)	نیتروژن (درصد) N (%)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P (mg.kg^{-1})	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) K (mg.kg^{-1})	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (dS.m^{-1})
رسی- سیلتی Clay-silty	7.1	1.23	0.114	10.6	139	0.58

جدول۲- اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش در طول دوره رشد گیاه باقلا

Table 2- Meteorological information for experimental site during the growth period of faba bean

ماه Month	دما (درجه سانتی‌گراد) Temperature (^{0}C)				بارندگی (میلی‌متر) Precipitation (mm)		مجموع ساعات آفتابی Total sunny hours	
	سال اول First year		سال دوم Second year					
	کمینه Min	بیشینه Max	کمینه Min	بیشینه Max	سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year
مهر October	15.5	23.8	14.1	22.1	239.9	238.8	108.6	130.1
آبان November	9.4	16.3	12.7	21.5	200.3	25.9	71.3	97.4
آذر December	2.3	12.1	5.5	14.9	219.4	71.4	129.8	115.8
دی January	3.5	11.5	5.3	12.9	38	66.7	90.9	77.8
بهمن Febrarury	0.3	8.6	3.6	10.7	216.7	185.6	92.4	68.5
اسفند March	4.1	14.5	7.3	15.1	44.8	86	134.5	56.9
فروردین April	8.5	18.6	8.5	18.7	86.2	20.4	140	145.9
اردیبهشت May	14.3	24.1	14.2	24.5	27.8	37.2	169.2	170.4
میانگین Mean	7.2	16.2	8.9	17.6				
مجموع Total					1073.1	732	936.7	862.6

نتایج و بحث

نتایج تجزیه متعامد نشان داد که اثر تیمارهای کودی بر تمامی صفات مورد مطالعه باقلا معنی‌دار بود (جدول ۳ و ۵). بیشترین ارتفاع بوته (۱۲۷/۳ سانتی‌متر)، تعداد شاخه جانبی (۴/۲)، تعداد غلاف در بوته (۱۷/۸)، تعداد دانه در غلاف (۴/۵)، تعداد دانه در بوته (۴۴/۳) و وزن ۱۰۰ دانه با میانگین ۱۱۸/۷ گرم (جدول ۴) و همچنین بیشترین میزان عملکرد غلاف سبز، عملکرد بیولوژیک، عملکرد پروتئین و عملکرد دانه به‌ترتیب با میانگین ۱۲۹۶۶، ۳۵۳۰۰، ۱۱۵۷/۷ و ۳۸۲۳/۹ کیلوگرم در هکتار (جدول ۶) در تیمار مصرف کود به دست آمد.

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ارتفاع بوته باقلا به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سال، نیتروژن و پتاسیم قرار گرفت، درحالی‌که اثر فسفر و هیچ یک از اثرات برهم‌کنش برای این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین، سال اول آزمایش نسبت به سال دوم از ارتفاع بوته بیشتری برخوردار بود. به نظر می‌رسد که به‌دلیل شرایط آب‌و هوایی و طول دوره رشد بیشتر در سال اول، گیاه باقلا فرصت کافی برای رشد، افزایش طول ساقه و در نهایت افزایش ارتفاع را داشته است. افزایش سطوح نیتروژن سبب افزایش ارتفاع بوته باقلا شد، به‌طوری‌که بیشترین ارتفاع بوته با میانگین ۱۳۳/۷ سانتی‌متر به تیمار ۹۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مربوط بود. بین سطوح پتاسیم، تیمار ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار بیشترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص داد، هر چند با تیمار ۷۵ کیلوگرم پتاسیم در هکتار اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴).

افزایش ارتفاع بوته در نتیجه مصرف کود نیتروژن را می‌توان به تأثیر نیتروژن در تولید مواد فتوسنتزی بیشتر، افزایش طول میان‌گره، تشدید رشد رویشی و تقسیمات سلولی در اندام گیاه به‌ویژه ساقه نسبت داد (Perveen et al., 2021). در پژوهشی گزارش شد که کاربرد کود نیتروژن، ارتفاع بوته باقلا را افزایش داد، به‌طوری‌که تیمار ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با میانگین ۷۸/۳۳ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص داد (Nori et al., 2022). پتاسیم می‌تواند از طریق تنظیم اسمزی، پتانسیل آب لازم را برای رشد و تقسیم سلولی فراهم کند و باعث افزایش ارتفاع ساقه شود (Wang et al., 2020). گوشه‌نشین (Goosheneshin, 2016) گزارش کرد که اثر کود سولفات پتاسیم بر ارتفاع بوته باقلا معنی‌دار بود و بیشترین ارتفاع بوته با مصرف ۱۲۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار به دست آمد.

تعداد شاخه جانبی

اثر سال و کود نیتروژن در سطح احتمال یک درصد بر تعداد شاخه جانبی باقلا معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که سال اول آزمایش با میانگین ۴/۶۷ در مقایسه با سال دوم با میانگین ۳/۸۳ از تعداد شاخه جانبی بیشتری برخوردار بود. در بین سطوح نیتروژن، بیشترین و کمترین تعداد شاخه جانبی به‌ترتیب با کاربرد ۹۲ و ۴۶ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد (جدول ۴). نیتروژن می‌تواند باعث تحریک رشد رویشی و افزایش طول مدت گل‌دهی شود و از طریق افزایش سطح فتوسنتز، میزان آسیمیلات‌های بیشتری در اختیار جوانه‌های جانبی قرار دهد. این عامل می‌تواند سبب تحریک رشد جوانه‌های جانبی و در نتیجه، افزایش تعداد شاخه‌های جانبی شود (Safikhani et al., 2015). نوری و همکاران (Nori et al., 2022) گزارش کردند که مصرف کود نیتروژن باعث افزایش تعداد شاخه جانبی باقلا شد، این افزایش در تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌ترتیب ۷ و ۱۱/۴ درصد نسبت به شاهد بود. در آزمایشی گزارش شد که بیشترین تعداد شاخه جانبی باقلا با کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار حاصل شد (Goosheneshin, 2016).

تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سال، کود نیتروژن و فسفر در سطح احتمال یک درصد و اثر کود پتاسیم در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که سال اول از نظر تعداد غلاف در بوته نسبت به سال دوم برتری معنی‌داری داشت. دلیل اصلی این برتری در سال اول آزمایش را می‌توان به بیشتر بودن ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی در بوته نسبت داد. در بین سطوح نیتروژن، بیشترین تعداد غلاف در بوته با کاربرد ۹۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد، هرچند تفاوت معنی‌داری نسبت به تیمار ۶۹ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نداشت. در بین سطوح فسفر، تیمار ۹۶ کیلوگرم فسفر در هکتار با میانگین ۱۸/۸ و در بین سطوح پتاسیم، تیمار ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار با میانگین ۱۷/۹ بیشترین تعداد غلاف در بوته را به خود اختصاص داد (جدول ۴). افزایش تعداد غلاف در بوته با افزایش سطوح نیتروژن می‌تواند به‌دلیل توسعه تاج‌پوشش، افزایش جذب انرژی تشعشی، تولید ماده خشک بیشتر و تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به قسمت‌های زایشی باشد (Sandrakirana & Arifin, 2021). در پژوهشی گزارش شد که با افزایش سطوح نیتروژن تعداد غلاف در بوته باقلا افزایش یافت و بیشترین تعداد غلاف (۸/۷۸) با کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد (Nori et al., 2022).

کاربرد کود فسفر علاوه‌بر افزایش رشدونمو گیاه (از طریق تنظیم فتوسنتز و افزایش فعالیت گره‌ها)، سبب تشکیل غلاف از ارتفاع پایین‌تر از سطح زمین و در نتیجه، افزایش تعداد غلاف در بوته می‌شود (Gholami & Koochaki, 2011). عالی‌پور و همکاران (Alipour et al., 2017) گزارش کردند که کاربرد کود فسفر تا سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش تعداد غلاف باقلا شد، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین تعداد غلاف در مترمربع به‌ترتیب در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار و تیمار عدم مصرف فسفر با میانگین ۱۰۳/۳

و ۸۳/۹ به دست آمد. نتایج بررسی اثر کود نیتروژن و فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد باقلا نشـــان داد که اثر برهم‌کنش کود نیتروژن و فسفر بر تعداد غلاف در مترمربع معنی‌دار بود. بیشترین تعداد غلاف در مترمربع با میانگین ۱۴۶/۳ با کاربرد ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار حاصل شد (Aziz Ali-Abadi et al., 2014).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر صفات مورد مطالعه باقلا

Table 3- Variance analysis of the effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on faba bean measured traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی Branch number	تعداد غلاف در بوته Pods per plant	تعداد دانه در غلاف Seeds per pod	تعداد دانه در بوته Seeds per plant	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight
متعامد Orthogonal	1	249.2**	4.30**	29.91**	3.54**	1572**	2140.8**
سال Year (Y)	1	3810.4**	19.3**	30.3**	33.67**	1060.3**	23381.8**
سال × تکرار Y × R	2	318.8	0.1	0.82	0.34	40	30.75
نیتروژن Nitrogen (N)	2	558.2**	5.06**	12.57**	0.32ns	448.8**	465.56**
فسفر Phosphorus (P)	1	103.8ns	0.73ns	13.80**	0.61*	515.7**	58.2ns
پتاسیم Potassium (K)	2	130.9*	0.35ns	10.19*	0.18ns	334.8**	140.4ns
نیتروژن × فسفر N × P	2	5.81ns	0.31ns	1.39ns	0.04ns	12.38ns	130.9ns
نیتروژن × پتاسیم N × K	4	26.09ns	0.03ns	0.76ns	0.16ns	11.88ns	89.71ns
فسفر × پتاسیم P × K	2	29.2ns	0.58ns	0.72ns	0.12ns	34.33ns	276.7*
نیتروژن × فسفر × پتاسیم N × P × K	4	14.86ns	0.05ns	0.88ns	0.01ns	20.9ns	18.31ns
سال × نیتروژن Y × N	2	29.93ns	0.59ns	3.42*	0.10ns	159.8**	105.0ns
سال × فسفر Y × P	1	80.95ns	0.001ns	1.61ns	0.32ns	4.32ns	59.41ns
سال × پتاسیم Y × K	2	54.18ns	0.08ns	0.61ns	0.006ns	2.97ns	14.32ns
سال × نیتروژن × فسفر Y × N × P	2	19.84ns	0.04ns	5.42ns	0.08ns	138.36*	270.2ns
سال × نیتروژن × پتاسیم Y × N × K	4	10.94ns	0.14ns	0.37ns	0.13ns	5.60ns	126.8ns
سال × فسفر × پتاسیم Y × P × K	2	3.01ns	0.29ns	1.51ns	0.18ns	56.15ns	23.74ns
سال × نیتروژن × فسفر × پتاسیم Y × N × P × K	4	23.59ns	0.04ns	1.15ns	0.20ns	18.42ns	14.4ns
خطا Error	64	32.42	0.19ns	1.22	0.15	30.40	61.77
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	7.47	10.34	11.24	8.52	12.45	6.62

ns: غیر معنی‌دار و * و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, * and **: Non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات گیاهی باقلا در تیمارهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم

Table 4- Mean comparison of plant traits of faba bean in nitrogen, phosphorus and potassium treatments

تیمار Treatments	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد شاخه جانبی Branch number	تعداد غلاف در بوته Pods per plant	تعداد دانه در غلاف Seeds per pod	تعداد دانه در بوته Seeds per plant	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seed Weight (g)
سال Year						
سال اول First year	125.2[a*]	4.6[a]	16.3[a]	4.0[b]	41.1[b]	104.1[b]
سال دوم Second year	122.3[b]	3.8[b]	15.1[b]	5.1[a]	47.4[a]	133.5[a]
متعامد Orthogonal						
بدون کود Non fertilizer	110.6[b]	3.4[b]	11.1[b]	3.8[b]	27.5[b]	99.4[b]
کاربرد کود Fertilizer application	127.3[a]	4.2[a]	17.8[a]	4.5[a]	44.3[a]	118.7[a]
نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen (kg.ha^{-1})						
46	122.2[c]	3.92[c]	15.2[b]	4.4[a]	40.4[b]	115.2[b]
69	126.3[b]	4.18[b]	18.9[a]	4.6[a]	45.3[a]	118.6[b]
92	133.7[a]	4.66[a]	19.4[a]	4.6[a]	47.2[a]	122.4[a]
فسفر (کیلوگرم در هکتار) Phosphorus (kg.ha^{-1})						
48	119.8[a]	4.2[a]	15.5[b]	4.5[b]	42.1[b]	118.0[a]
96	122.3[a]	4.3[a]	18.8[a]	4.6[a]	46.5[a]	119.5[a]
پتاسیم (کیلوگرم در هکتار) Potassium (kg.ha^{-1})						
50	120.3[b]	4.2[a]	14.3[c]	4.5[a]	41.4[c]	116.7[a]
75	121.7[ab]	4.4[a]	16.4[b]	4.6[a]	44.1[b]	120.6[a]
100	123.1[a]	4.2[a]	17.9[a]	4.6[a]	47.4[a]	118.9[a]

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test

تعداد دانه در غلاف و بوته

تعداد دانه در غلاف تحت تأثیر سال و فسفر قرار گرفت، ولی اثر نیتروژن، پتاسیم و اثرات برهم‌کنش بر آن معنی‌دار نبود (جدول ۳). در سال دوم آزمایش در مقایسه با سال اول، تعداد دانه در غلاف بیشتری به دست آمد. در بین سطوح کود فسفر، بیشترین تعداد دانه در غلاف (۴/۶) با کاربرد ۹۶ کیلوگرم فسفر در هکتار حاصل شد (جدول ۴). تارک و تاواها (Turk & Tawaha, 2002) در مطالعه‌ای گزارش کردند که تعداد دانه در غلاف باقلا تحت تأثیر کود فسفر قرار گرفت و افزایش سطوح فسفر به ۵۲/۵ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش معنی‌دار تعداد دانه در غلاف شد. در پژوهشی مشاهده شد که اثر سطوح فسفر بر تعداد دانه در غلاف سویا معنی‌دار بود، به‌طوری‌که با افزایش میزان فسفر به ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، تعداد دانه در غلاف به‌ترتیب به ۲/۳۷ و ۲/۵۲ افزایش یافت (Yasari, 2013).

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار سال، نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر تعداد دانه در بوته باقلا بود، امّا اثر برهم‌کنش معنی‌داری بین فاکتورهای آزمایش مشاهده نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که سال دوم آزمایش با میانگین ۴۷/۴ تعداد دانه در بوته نسبت به سال اول با میانگین ۴۱/۱ تعداد دانه در بوته از برتری معنی‌داری برخوردار بود که این برتری را می‌توان به بیشتر بودن تعداد دانه در غلاف نسبت داد. در بین سطوح کود نیتروژن، بیشترین تعداد دانه در بوته مربوط به تیمار ۹۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود که با تیمار ۶۹ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در یک گروه آماری قرار داشتند. افزایش کاربرد کودهای فسفر و پتاسیم موجب

افزایش تعداد دانه در بوته شد، به‌طوری‌که بیشترین میزان این صفت با کاربرد بالاترین سطوح فسفر و پتاسیم به‌ترتیب با میانگین ۴۶/۵ و ۴۷/۴ به دست آمد (جدول ۴). افزایش تعداد دانه در بوته با کاربرد کود نیتروژن را می‌توان به تأثیر مستقیم نیتروژن بر تقسیم سلولی، افزایش تعداد گل‌های بارور و کاهش تعداد گل‌های عقیم نسبت داد (Sharma et al., 2007).

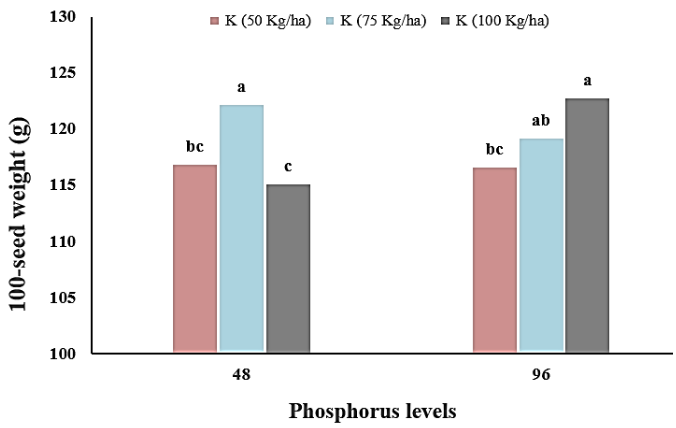
وزن ۱۰۰ دانه

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر سال و کود نیتروژن در سطح احتمال یک درصد و اثر برهم‌کنش فسفر و پتاسیم در سطح احتمال پنج درصد بر وزن ۱۰۰ دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش فسفر و پتاسیم نشان داد که بیشترین وزن ۱۰۰ دانه از ترکیب تیماری ۹۶ کیلوگرم فسفر در هکتار با ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار به دست آمد (شکل ۱). سال دوم آزمایش از وزن ۱۰۰ دانه بیشتری نسبت به سال اول برخوردار بود. بیشترین وزن ۱۰۰ دانه در بین سطوح نیتروژن نیز مربوط به تیمار ۹۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با میانگین ۱۲۲/۴ بود (جدول ۴). مصرف کود نیتروژن می‌تواند از طریق افزایش دوام سطح برگ و تولید ماده خشک بیشتر، مواد فتوسنتزی بیشتری را به دانه‌ها منتقل کرده و باعث افزایش وزن دانه شود (Drulis et al., 2022). در آزمایشی گزارش شد که کاربرد کود اوره باعث افزایش معنی‌داری در وزن ۱۰۰ دانه باقلا نسبت به شاهد شد (Shah Mohammadzadeh, 2022).

جذب بیشتر فسفر توسط باقلا و ورود آن به متابولیسم گیاه می‌تواند بر روند پرشدن دانه‌ها و تخصیص مواد پرورده فتوسنتزی مؤثر باشد و در نتیجه، زمینه را برای افزایش وزن ۱۰۰ دانه فراهم کند. افزایش فسفر می‌تواند سبب افزایش ذخیره فیتین بذر شود و نقش مهمی در اندازه و وزن بذر داشته باشد (Abdolahpour et al., 2021). بابایی (Babaei, 2019) گزارش کرد که اثر مقادیر مختلف کود فسفر بر وزن ۱۰۰ دانه باقلا معنی‌دار بود و با افزایش مصرف فسفر در خاک، وزن ۱۰۰ دانه افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین مقدار وزن ۱۰۰ دانه به‌ترتیب در تیمار ۱۲۰ کیلوگرم فسفر در هکتار و شاهد (عدم مصرف کود) حاصل شد. پتاسیم از طریق افزایش سرعت فتوسنتز برگ‌ها باعث افزایش جذب دی‌اکسیدکربن و بهبود انتقال مواد فتوسنتزی می‌شود. در آزمایشی گزارش شد که با افزایش سطوح پتاسیم به ۷۵ کیلوگرم در هکتار، وزن ۱۰۰ دانه باقلا (۹۹/۴) در مقایسه با تیمار عدم مصرف پتاسیم (۶۹/۹) افزایش قابل‌توجهی یافت (Hamoudi et al., 2012).

عملکرد غلاف سبز

عملکرد غلاف سبز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم قرار گرفت (جدول ۵). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش سطوح کودهای شیمیایی، عملکرد غلاف افزایش یافت. بر این اساس، بیشترین میزان عملکرد غلاف با کاربرد ۹۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، ۹۶ کیلوگرم فسفر در هکتار و ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار به دست آمد (جدول ۶). به‌دلیل نقش فسفر در ذخیره و انتقال انرژی در گیاه، به نظر می‌رسد که افزایش جذب این عنصر، زمینه را برای افزایش جذب سایر عناصر فراهم کرده و در نتیجه، باعث افزایش عملکرد غلاف شده باشد. بابایی (Babaei, 2019) گزارش کرد که اثر مقادیر مختلف کود فسفر بر عملکرد غلاف سبز باقلا معنی‌دار بود و با افزایش مصرف کود، عملکرد غلاف افزایش یافت و بیشترین مقدار آن با مصرف ۸۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به دست آمد. مک‌کنزی و همکاران (McKenzie et al., 2001) گزارش کردند که با کاربرد کود نیتروژن، عملکرد غلاف سبز لوبیا افزایش یافت. آن‌ها دلیل این افزایش را به تعداد غلاف در بوته و وزن دانه بیشتر نسبت دادند.



شکل ۱- اثر برهم‌کنش فسفر و پتاسیم بر وزن ۱۰۰ دانه باقلا

Fig. 1- Interaction effect of phosphorus and potassium on 100-seed weight of faba bean

حروف غیرمشابه در هر ستون، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون LSD می‌باشد

Different alphabet in each column indicates significant difference at $p \leq 0.05$ based on LSD Test

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر صفات مورد مطالعه باقلا

Table 5- Variance analysis of the effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on faba bean measured traits

منابع تغییر S.O.V	درجه ازادی df	عملکرد غلاف سبز Pod yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	میزان پروتئین Protein content	عملکرد پروتئین Protein yield
متعامد Orthogonal	1	700689**	99906392**	13258979**	51**	2358998**
سال Year (Y)	1	3089626ns	282951ns	1020639ns	3.96ns	134775ns
سال × تکرار Y × R	2	14033890	1631301	878070	20.5	26648
نیتروژن Nitrogen (N)	2	55949187**	117698675**	7655862**	144.8**	1722988**
فسفر Phosphorus (P)	1	18866096*	16103922*	3232678**	32.9**	614902**
پتاسیم Potassium (K)	2	25114090**	24078144**	2852612**	17.6**	492682**
نیتروژن × فسفر N × P	2	596233ns	1070854ns	64648ns	0.55ns	17083ns
نیتروژن × پتاسیم N × K	4	954662ns	2368863ns	167292ns	5.67ns	36061ns
فسفر × پتاسیم P × K	2	4325222ns	1708085ns	637845ns	0.71ns	83131ns
نیتروژن × فسفر × پتاسیم N × P × K	4	2128908ns	3132254ns	114921ns	2.80ns	6103ns
سال × نیتروژن Y × N	2	57952598**	230141ns	670422ns	2.44ns	56513ns
سال × فسفر Y × P	1	15249739*	50095ns	5970ns	0.28ns	780ns
سال × پتاسیم Y × K	2	4350471ns	104542ns	59259ns	1.84ns	13483 ns
سال × نیتروژن × فسفر Y × N × P	2	3088778ns	76479ns	25514ns	2.20ns	9138ns
سال × نیتروژن × پتاسیم Y × N × K	4	3105670ns	101580ns	83814ns	1.53ns	5122ns
سال × فسفر × پتاسیم Y × P × K	2	275235ns	82190ns	4218ns	0.85ns	590ns
سال × نیتروژن × فسفر × پتاسیم Y × N × P × K	4	1016175ns	148529ns	187609ns	1.75ns	16923ns
خطا Error	64	3654912	2558786	331770.7	2.34	40294.2
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	14.74	13.73	15.06	5.08	17.34

ns: غیر معنی‌دار و * و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, * and **: Non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات گیاهی باقلا در تیمارهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم

Table 6- Mean comparison of plant traits of faba bean in nitrogen, phosphorus and potassium treatments

تیمار Treatments	عملکرد غلاف سبز (کیلوگرم در هکتار) Pod yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	میزان پروتئین (درصد) Protein content (%)	عملکرد پروتئین (کیلوگرم در هکتار) Protein yield ($kg.ha^{-1}$)
سال Year					
سال اول First year	12798^{a}	35456^{a}	3726.7^{a}	29.88^{a}	1122.4^{a}
سال دوم Second year	13136^{a}	35146^{a}	3921.1^{a}	30.27^{a}	1193.0^{a}
متعامد Orthogonal					
بدون کود Non fertilizer	9433^{b}	23595^{b}	2293.0^{b}	27.09^{b}	625.9^{b}
کاربرد کود Fertilizer application	12966^{a}	35300^{a}	3823.9^{a}	30.07^{a}	1157.7^{a}
نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen ($kg.ha^{-1}$)					
46	11828^{c}	32087^{b}	3391.7^{c}	28.08^{c}	952.2^{c}
69	12773^{b}	34320^{b}	3770.5^{b}	30.04^{b}	1133.3^{b}
92	14299^{a}	41495^{a}	4309.4^{a}	32.10^{a}	1387.7^{a}
فسفر (کیلوگرم در هکتار) Phosphorus ($kg.ha^{-1}$)					
48	12549^{b}	31130^{b}	3650.9^{b}	29.52^{b}	1082.3^{b}
96	13385^{a}	34442^{a}	3996.9^{a}	30.63^{a}	1233.2^{a}
پتاسیم (کیلوگرم در هکتار) Potassium ($kg.ha^{-1}$)					
50	12284^{b}	32570^{b}	3612.6^{b}	29.51^{b}	1070.1^{b}
75	12718^{b}	35350^{a}	3715.6^{b}	29.85^{b}	1112.5^{b}
100	13898^{a}	36344^{a}	4143.4^{a}	30.86^{a}	1290.6^{a}

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس نشـــان‌دهنده تأثیر معنی‌دار کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر عملکرد بیولوژیک باقلا بود، امّا اثر سال و اثر متقابل بین فاکتورهای اصلـی آزمایش برای این صفت معنی‌دار نشـد (جدول ۵). بیشـــترین عملکرد بیولوژیـک باقلا با کاربرد بالاترین ســـطوح کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌ترتیب با میانگین ۴۱۴۹۵، ۳۴۴۴۲ و ۳۶۳۴۴ کیلوگرم در هکتار حاصـل شـد (جدول ۶). از دلایل اصـلی افزایش عملکرد بیولوژیک باقلا با کاربرد کودهای شـــیمیایی می‌توان به افزایش نیتروژن، فسـفر و پتاسـیم قابل دسـترس گیاه، بهبود جذب آب و عناصـر غذایی، افزایش شـاخص سـطح برگ، بهبود فتوسـنتز و رشد بیشتر اندام‌های هوایی و ریشه اشاره کرد (Gan et al., 2008).

در آزمایشـــی گزارش شـد که با افزایش سـطوح کودهای نیتروژن و فســفر، عملکرد بیولوژیـک باقلا بـه‌طور معنی‌داری افزایش یـافـت، به‌طوری‌که بیشـــترین عملکرد بیولوژیک در بین ســطوح نیتروژن با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و در بین سطوح فسفر نیز با مصـــرف ۱۰۰ کیلوگرم فســفر در هکتار به دســـت آمد (Shahdi Kumleh et al., 2017). شـــاه‌مـحـمـدزاده (Shah Mohammadzadeh, 2022) گزارش کرد کـه کـاربرد ۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار باعث افزایش ۳۰/۴ درصدی عملکرد بیولوژیک باقلا نسـبت به تیمار عدم مصـرف کود شـد، امّا تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای کود دامی و نیتروژن مشاهده نشد.

عملکرد دانه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثر تیمارهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر عملکرد دانه باقلا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که عملکرد دانه در سال دوم آزمایش نسبت به سال اول برتری داشت، هرچند این برتری معنی‌دار نبود. بیشتر بودن عملکرد دانه در سال دوم را می‌توان به بیشتر بودن تعداد دانه در بوته و شرایط مساعد آب‌وهوایی در این سال (بارندگی کمتر و دمای بیشتر به‌ویژه در ماه‌های ابتدایی دوره رشد) نسبت داد. افزایش سطوح کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌ترتیب به ۹۲، ۹۶ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در عملکرد دانه شد (جدول ۶). بیشتر بودن عملکرد دانه با افزایش مصرف کودهای شیمیایی را می‌توان به افزایش تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته نسبت داد.

نیتروژن با تأثیر بر سازوکارهای گیاهی از جمله فتوسنتز، طول دوره رشد و تجمع ماده خشک بر عملکرد دانه اثرات بارزی دارد (Wang et al., 2016). از دلایل اصلی افزایش عملکرد با کاربرد کود پتاسیم می‌توان به کاهش ریزش گل و غلاف اشاره کرد (Souza et al., 2008). شاه‌محمدزاده (Shah Mohammadzadeh, 2022) گزارش کرد که بیشترین عملکرد دانه باقلا با مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد که نسبت به شاهد ۲۸/۵ درصد افزایش نشان داد. افزایش عملکرد دانه با مصرف کود فسفر را می‌توان به نقش فسفر در فرآیندهای تقسیم سلولی و تغذیه متعادل گیاه نسبت داد (Weldua et al., 2012). شهدی کومله و همکاران (Shahdi Kumleh et al., 2017) گزارش کردند که اثر کود فسفر بر عملکرد دانه باقلا معنی‌دار بود، به‌طوری‌که افزایش سطوح فسفر باعث افزایش عملکرد دانه به‌میزان ۲۹۴ کیلوگرم در هکتار شد. در مطالعه‌ای گزارش شد که کاربرد کود فسفر تا سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، موجب افزایش عملکرد دانه باقلا (۳۱۱۴ کیلوگرم در هکتار) شد. بااین‌حال، با افزایش مصرف فسفر (۱۵۰کیلوگرم در هکتار)، عملکرد دانه روند نزولی داشت و به‌میزان ۲۴۹۲ کیلوگرم در هکتار رسید (Alipour et al., 2017).

میزان و عملکرد پروتئین دانه

میزان پروتئین دانه به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) تحت تأثیر کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم قرار گرفت، امّا اثر سال و اثر متقابل بین فاکتورهای آزمایش بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۵). بین سطوح نیتروژن، بیشترین میزان پروتئین دانه با مصرف ۹۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد. همچنین در بین سطوح فسفر، مصرف ۹۶ کیلوگرم فسفر در هکتار با میانگین ۳۰/۶۳ و در بین سطوح پتاسیم، مصرف ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار با میانگین ۳۰/۸۶، بیشترین میزان پروتئین دانه را به خود اختصاص داد (جدول ۶). افزایش میزان پروتئین با کاربرد کود نیتروژن بیانگر این واقعیت است که نیتروژن نقش مهمی در سنتز پروتئین دارد (Hani et al., 2006). نیتروژن در ساختار مولکول کلروفیل، اسیدهای نوکلئیک و بسیاری از اجزاء پروتوپلاسم شرکت دارد. بنابراین، افزایش مصرف نیتروژن رابطه مستقیمی با افزایش پروتئین دانه دارد (Nouriyani, 2015). کاربرد کود نیتروژن می‌تواند سبب توسعه سیستم رشد گیاه، بهبود جذب آب و مواد غذایی، افزایش فتوسنتز و در نتیجه، افزایش وزن خشک گیاه گردد. با توجه به اینکه مقدار نیتروژن کل گیاه با وزن خشک کل همبستگی مثبتی دارد، در نتیجه مقدار نیتروژن کل و به تبع آن مقدار پروتئین گیاه افزایش می‌یابد (Hani et al., 2006). نوری و همکاران (Nori et al., 2022) گزارش کردند که کاربرد کود نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر میزان پروتئین دانه باقلا دارد و بیشترین و کمترین میزان پروتئین دانه به‌ترتیب در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و تیمار عدم مصرف نیتروژن حاصل شد. در مطالعه‌ای گزارش شد که کاربرد ۳۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر باعث افزایش قابل‌توجهی در میزان پروتئین دانه باقلا شد (EL-Gizawy et al., 2009).

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر عملکرد پروتئین بود (جدول ۵). افزایش کاربرد کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم موجب افزایش عملکرد پروتئین شد، به‌طوری‌که بیشترین میزان عملکرد پروتئین با کاربرد بالاترین سطوح نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌ترتیب با میانگین ۱۳۸۷/۷، ۱۲۳۳/۲ و ۱۲۹۰/۶ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ۶). افزایش عملکرد پروتئین با مصرف کودهای شیمیایی را می‌توان به افزایش عملکرد دانه و میزان پروتئین نسبت داد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که عملکرد دانه باقلا در سال دوم آزمایش به‌دلیل بیشتر بودن وزن ۱۰۰ دانه، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته و شرایط مساعد آب‌وهوایی شامل بارندگی کمتر و دمای بیشتر به‌ویژه در ماه‌های ابتدایی دوره رشد، نسبت به سال اول برتری داشت، هرچند این برتری معنی‌دار نبود. تیمار مصرف کود به‌طور قابل‌توجهی باعث بهبود تمامی صفات مورد مطالعه شد. بر این اساس، عملکرد دانه در تیمار مصرف کود نسبت به شاهد ۶۷ درصد افزایش نشان داد. افزایش سطوح نیتروژن موجب افزایش صفات زراعی باقلا به‌جز تعداد دانه در غلاف شد. همچنین، افزایش سطوح فسفر و پتاسیم باعث افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد غلاف، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و عملکرد پروتئین شد. در مجموع، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده استفاده از کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌ترتیب به‌میزان ۹۲، ۹۶ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار جهت بهبود عملکرد، افزایش بهره‌وری و توسعه زراعت باقلا به‌عنوان کشت دوم در شرایط شالیزاری استان گیلان پیشنهاد می‌شود.

References

Abdolahpour, H., Tohidi Nejad, E., & Pasandi Pour, A. (2021). Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on morpho-physiological characteristics and seed yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.*)*. *Journal of Crop Ecophysiology*, *1*(57), 57-72. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.30495/jcep.2021.681006

Alipour, S., Moradi Telavat, M. R., Siyadat, S. A., Mosavi, S. H., & Karmala Chab, A. (2017). Effect of planting date and phosphorus fertilizer surface on the morphological characteristics and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *Iranian Journal Pulses Research*, *7*(2), 45-58. (In Persian with English Abstract). http://doi.org/10.22067/ijpr.v7i2.43382

Aziz Ali-Abadi, K., Zavareh, M., Shahdi Koumleh, A., & Rabiee, M. (2014). Effect of nitrogen and phosphorus fertilizers on grain yield and yield components of faba bean (*Vicia faba* L.). 13 Iranian Crop Sciences Congress and 3rd Iranian Seed Science and Technology Conference. Karaj, Iran. (In Persian).

Babaei, H. R. (2019). Effect of different levels of simple super phosphate on growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) in Lasht-e Nesha. M.Sc. Thesis, Islamic Azad University Rasht Branch, Rasht, Iran. (In Persian).

Cucci, G., Lacolla, G., Summo, C., & Pasqualone, A. (2019). Effect of organic and mineral fertilization on faba bean (*Vicia faba* L.). *Scientia Horticulturae*, *243*, 338-343. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.051

Drulis, P., Kriauciuniené, Z., & Liakas, V. (2022). The influence of different nitrogen fertilizer rates, urease inhibitors and biological preparations on maize grain yield and yield structure elements. *Agronomy*, *12*, 741. https://doi.org/10.3390/agronomy12030741

EL- Gizawy, N. K. B., & Mehasen, S. A. S. (2009). Response of faba bean to bio, mineral phosphorus fertilizers and foliar application with zinc. *World Applied Sciences Journal*, *6*(10), 1359-1365.

Gan, Y., Malhi, S. S., Brandt, S., Katepa-Mupondwa, F., & Stevenson, C. (2008). Nitrogen use efficiency and nitrogen uptake of Juncea canola under diverse environments. *Agronomy Journal*, *100*(2), 285-295. https://doi.org/10.2134/agronj2007.0229

Gholami, A., & Koochaki, E. (2011). *Mycorrhiza in Sustainable Agricluture*. University of Shahrood Publication, Shahrood, Iran. 212 p. (In Persian).

Golabi, M., & Lak, S. (2005). Effect of nitrogen and plant density on quantitative and qualitative yield of bean in Ahwaz climatic conditions. The 1th National Pulse Crops Symposium. Mashhad, Iran. (In Persian).

Goosheneshin, A. (2016). Effect of KCl and K_2SO_4 fertilizers type and quantity on yield and yield component of faba bean. M.Sc. Thesis, Islamic Azad University Rasht Branch, Rasht, Iran. (In Persian).

Hamoudi, J., Shabani Qazvini, H., Alkaie Behjati, M., & Malie, M. (2012). Study of planting arrangement and potassium fertilizer on agronomic traits of faba bean. The 4th Iranian Pulse Crops Symposium. Arak, Iran. (In Persian).

Hani, A., Elteliba, M., Hamad, A., & Eltom, E. A. (2006). The effect of nitrogen and phosphorus fertilization on growth, yield and quality of forage maize (*Zea mays* L.). *Journal of Agronomy*, *5*(3), 515-518. https://doi.org/10.3923/ja.2006.515.518

Hosseinzade, H., Dastan, S., Hashemi Murabi, H., & Ghoraishi Khorasgani, R. (2012). Effect of amount and application method of potassium on yield and yield components of faba bean. The 4th Iranian Pulse Crops Symposium. Arak, Iran. (In Persian).

Jin, J., Wang, G., Liu, X., Pan, X., & Herbert, S. J. (2005). Phosphorus application affects the soybean root response to water deficit at the initial flowering and full pod stages. *Soil Science and Plant Nutrition*, *51*(7), 953-960. https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2005.tb00133.x

Karkanis, A., Ntatsi, G., Lepse, L., Fernández, J. A., Vagen, I. M., Rewald, B., Alsina, I., Kronberga, A., Balliu, A., Olle, M., Bodner, G., Dubova, L., Rosa, E., & Savvas, D. (2018). Faba bean cultivation–revealing novel managing practices for more sustainable and competitive European cropping systems. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 1115. https://doi.org/10.3389%2Ffpls.2018.01115

Khosravi, H., Mirzashahi, K., Ramezanpour, M., Kalhor, M., & Mir-Rasouli, E. (2015). Effectiveness evaluation of some native *Rhizobia* on Faba bean yield in Iran. *Journal of Sol Biology*, *3*(1), 83-91. (In Persian). http://doi.org/10.22092/sbj.2015.102228

Liu, L., Zheng, X., Wei, X., Kai, Z., & Xu, Y. (2021). Excessive application of chemical fertilizer and organophosphorus pesticides induced total phosphorus loss from planting causing surface water eutrophication. *Scientific Reports*, *11*, 23015. https://doi.org/10.1038/s41598-021-02521-7

McKenzie, R. H., Middleton, A. B., Seward, K. W., Gaudiel, R., Wildschut, C., & Bremer, E. (2001). Fertilizer responses of dry bean in southern Alberta. *Canadian Journal Plant Sciences*, *81*, 343-350. https://doi.org/10.4141/P00-106

Meng, X., Chen, W., Wang, Y., Huang, Z., Ye, X., Chen, L., & Yang, L. (2021). Effects of phosphorus deficiency on the absorption of mineral nutrients, photosynthetic system performance and antioxidant metabolism in *Citrus grandis*. *PLoS One*, *16*(2), e0246944. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246944

Nori, S., Nakhzari Moghaddam, A., Biabani, A., & Seyedian, S. M. (2022). The effect of topping, nitrogen and supplemental irrigation on green pod yield, protein percentage, proline rate and agronomic efficiency of nitrogen in faba bean (*Vicia faba* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *15*(1), 105-113. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2020.3238.1847

Nouriyani, H. (2015). Effect of different nitrogen levels on yield, yield components and some quality characteristics of two cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Crop Production and Processing*, *5*(16), 233-241. (In Persian). http://doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.5.16.233

Perveen, S., Ahmad, S., Skalicky, M., Hussain, I., Habibur-Rahman, M., Ghaffar, A., Shafqat Bashir, M., Batool, M., Hassan, M. M., & Brestic, M. (2021). Assessing the potential of polymer coated urea and sulphur fertilization on growth, physiology, yield, oil contents and nitrogen use efficiency of sunflower crop under arid environment. *Agronomy*, *11*, 269. https://doi.org/10.3390/agronomy11020269

Peng, J., Feng, Y., Wang, X., Li, J., Xu, G., Phonenasay, S., Luo, Q., Han, Z., & Lu, W. (2021). Effects of nitrogen application rate on the photosynthetic pigment, leaf fluorescence characteristics, and yield of indica hybrid rice and their interrelations. *Scientific Reports*, *11*, 7485. https://doi.org/10.1038/s41598-021-86858-z

Rabiee, M., & Jilani, M. (2015). Determination of planting date, seed rate and row spacing on yield and agronomical traits of faba bean (*Vicia faba* L.) in Rasht area. *Plant Production Technology*, *7*(2), 81-93. (In Persian with English Abstract).

Rabiee, M., & Modarresi, M. (2021). *Rapeseed (Brassica napus* L.*) Cultivation as Second Crop in Paddy Field*. Narvan Danesh, Iran. 124 p. (In Persian).

Rawat, J., Pandey, N., & Saxena, J. (2022). Role of potassium in plant photosynthesis, transport, growth and yield. *Role of Potassium in Abiotic Stress*. In: N. Iqbal and S. Umar (Eds.). Springer, Singapore, p. 1–14. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-16-4461-0_1

Safikhani, S., Biabani, A., Faraji, A., Rahemi, A., & Gholizadeh, A. (2015). Response of some agronomic characteristic of canola (*Brassica napus* L.) to nitrogen fertilizer and sowing date. *Journal of Crop Ecophysiology*, *35*(3), 429-446. (In Persian with English Abstract).

Salo-Vaananen, P. P., & Koivistoinen. P. E. (1996). Determination of protein in foods: Comparison of net protein and crude protein (N x 6.25) values. *Food Chemistry*, *51*(1), 21-31. https://doi.org/10.1016/0308-8146(96)00157-4

Sandrakirana, R., & Arifin, Z. (2021). Effect of organic and chemical fertilizers on the growth and production of soybean (*Glycine max*) in dry land. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, *74*(3), 9643-9653. http://dx.doi.org/10.15446/rfnam.v74n3.90967

Selim, M. M. (2021). Introduction to the integrated nutrient management strategies and their contribution to yield and soil properties. *Journal of Plant Sciences*, *9*(4), 139-150. https://doi.org/10.11648/j.jps.20210904.13

Shahdi Kumleh, A., Sadegh, L., Rabiee, M., & Foroughi, F. (2017). Residual effect of nitrogen and phosphorus fertilizers in faba bean field on yield in faba bean- rice cropping system in Guilan. *Journal of Crop Ecophysiology*, *2*(42), 383-398. (In Persian with English Abstract).

Shah Mohammadzadeh, P. (2022). Effect of urea and some organic fertilizers on growth and field performance of faba bean (*Vicia faba* L.). M.Sc. Thesis, University of Tabriz, Tabriz, Iran. (In Persian).

Sharma, K., Dak, G., Agrawal, A., Bnatnagar, M., & Sharma, R. (2007). Effect of phosphate solubilizing bacteria on the germination of *Cicer Arietinum* seeds and seedling growth. *Journal of Herbal Medicine and Toxicology*, *1*(1), 61-63.

Souza, A. B. D., Andrade, M. J. B. D., Vieira, N. M. B., & Albuquerque, A. D. (2008). Sowing densities and NPK and liming levels on common bean yield, in conventional cropping system, in Ponta Grossa, Parana State, Brazil. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, *38*(1), 39-43.

Turk, M. A., & Tawaha, A. R. M. (2002). Impact of seeding rate, seeding date, rate and method of phosphorus application in faba bean (*Vicia faba* L.) in the absence of moisture stress. *Biotechnologie, Agronomie, Societe et Environnement*, *6*(3), 171-178.

Wang, Y., Zhang, Z., Liang, Y., Han, Y., Han, Y., & Tan, J. (2020). High potassium application rate increased grain yield of shading-stressed winter wheat by improving photosynthesis and photosynthate translocation. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 134. https://doi.org/10.3389%2Ffpls.2020.00134

Wang, Z., Zhang, Z., Beebout, S. S., Zhang, H., Liu, L., Yang, J., & Zhang, J. (2016). Grain yield, water and nitrogen use efficiencies of rice as influenced by irrigation regimes and their interaction with nitrogen rates. *Field Crops Research*, *193*, 54-69. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.03.006

Weldua, Y., Hailheb, M., & Habtegebrielb, K. (2012). Effect of zinc and phosphorus fertilizers application on yield and yield components of faba bean (*Vicia faba* L.) grown in Calcaric Cambisol of semi-arid northern Ethiopia. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, *3*(12), 320-326. https://academicjournals.org/article/article1380044321_Weldu%20et%20al.pdf

Wu, Y. W., Li, Q., Jin, R., Chen, W., Liu, X. L., Kong, F. L., Ke, Y. P., Shi, H. C., & Yuan, J. C. (2019). Effect of low-nitrogen stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of maize cultivars with different low-nitrogen tolerances. *Journal of Integrative Agriculture*, *6*, 1246-1256. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62030-1

Yasari, E. (2013). Evaluation of the effects of phosphate solubilizing bacteria as biofertilizers and the mineral phosphorous on growth and yield of the Tellar cultivar of soybean (*Glycine max* Merrill) in the north of Iran. *Applied Research of Plant Ecophysiology*, *1*(1), 1-18. (In Persian). https://arpe.gonbad.ac.ir/article-1-25-en.html